植物保护学报 Journal of Plant Protection，2018，45(2)：223-227 DOI：10.13802/j.cnki.zwbhxb.2018.2016227

基于EPG分析无翅型和有翅型柑橘蚜虫的取食行为

赵如娜[1] 何应琴[1] 鲁卓越[1] 陈文龙[1*] 王雪峰[2] 周常勇[2*]

（1. 贵州大学昆虫研究所，贵州省山地农业病虫害重点实验室，贵阳 550025；
2. 中国农业科学院柑桔研究所，重庆 北碚 400712）

摘要：为明确无翅型、有翅型柑橘蚜虫取食行为的差异，采用EPG技术对褐色橘蚜 *Toxoptera citricida*（Kirkaldy）和棉蚜 *Aphis gossypii* Glover的有翅型、无翅型成蚜在柑橘苗上的取食行为进行测定。结果表明，褐色橘蚜无翅型和有翅型的EPG均记录到7种取食波形，依次为非刺探波np、路径波A、B和C、电位下降波pd、韧皮部取食波E1和E2；棉蚜无翅型和有翅型的EPG记录到9种取食波形，除上述7种外，还包括木质部主动吸食波G和口针阻碍波F。褐色橘蚜有翅型和无翅型的np波持续时间为25.73 min和8.39 min，二者间差异显著；棉蚜有翅型的np波持续时间、刺探次数、C波次数分别为27.34 min、19.16次、20.21次，显著高于无翅型，而刺探总持续时间为332.66 min，显著低于无翅型。棉蚜的C波次数及总持续时间、刺探次数、pd波次数及总持续时间均显著高于褐色橘蚜，而E2波总持续时间及平均持续时间均显著小于褐色橘蚜。表明棉蚜无翅型比有翅型在柑橘上更容易取食，影响有翅型蚜虫取食的抗性因子可能位于柑橘表面；褐色橘蚜比棉蚜对柑橘的适应性更强。

关键词：有翅型；无翅型；刺探电位图谱；取食行为

Feeding behaviors of apterous and alate adults of two citrus aphid species based on EPG

Zhao Runa[1] He Yingqin[1] Lu Zhuoyue[1] Chen Wenlong[1*] Wang Xuefeng[2] Zhou Changyong[2*]

（1. Guizhou Key Laboratory of Plant Diseases and Pest Management for Mountainous Agriculture, Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou Province, China; 2. Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beibei 400712, Chongqing, China）

Abstract: In order to clarify the difference in the feeding behavior of apterous and alate morphs of citrus aphids, the stylet penetration activities of apterous and alate adults of brown citrus aphid *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) and cotton aphid *Aphis gossypii* Glover were investigated on citrus by the electrical penetration graph (EPG). The results showed that there were seven EPG waveforms for apterous and alate *T. citricida* feeding on citrus leaves, including non-penetration (np) waveform, pathway waveforms A, B and C, potential drop (pd) waveform, phloem sap ingestion E1 and E2, and apterous and alate *A. gossypii* aphids had nine EPG waveforms, including xylem sap ingestion G, mechanical difficulties F in addition to seven above-mentioned EPG waveforms. Significant difference was found in duration time of np between the alate (25.73 min) and apterous *T. citricida* aphids (8.39 min). The duration time of np (27.34 min), number of C (19.16 times) and number of probes (20.21 times) of alate *A. gossypii* were higher than those of apterous *T. citricida*; however, total duration of probing was 332.66 min, significantly lower than that of apterous *T. citricida*. The number and duration of C, number of probes, number and

基金项目：国家公益性行业（农业）科研专项（201203076）

* 通信作者（Authors for correspondence），E-mail：cwl001@163.com，zhoucy@cric.cn

收稿日期：2016-12-17

total duration of pd of *A. gossypii* were significantly higher than those of *T. citricida*; however, the duration and mean duration of E2 of *A. gossypii* were significantly shorter than those of *T. citricida*. The apterous *A. gossypii* fed easily on healthy plants compared with the alate, indicating that the resistance factors that affect the feeding of alate *A. gossypii* might exist on the surface of citrus leaves. Moreover, *T. citricida* had a stronger adaptability to the citrus.

Key words: apterous morph; alate morph; electrical penetration graph; feeding behavior

柑橘蚜虫褐色橘蚜 *Toxoptera citricida*（Kirkaldy）和棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 均属于半翅目蚜科，是为害柑橘新梢的重要害虫，二者吸食柑橘新芽、嫩梢、嫩叶、花蕾和幼果汁液，使叶片卷曲，影响植物生长发育，严重时甚至造成植株死亡，还是柑橘衰退病的主要传播媒介，严重影响世界柑橘产业的健康发展。褐色橘蚜和棉蚜存在多型现象，有翅蚜可在寄主间相互迁飞蔓延，其寄主选择由多种行为反应序列构成（苏建亚和夏基康，1987；Powell et al.，2006），一旦选择了寄主，就会进行繁殖产生无翅蚜，经过一段时间的繁殖后，因寄主营养恶化和种群拥挤等不利因素影响而在植株间爬迁（Harrington & Taylor，1990）或产生有翅蚜进行迁飞，大面积危害植株，病毒病随之迅速传播。

刺吸电位图谱（electrical penetration graph，EPG）是在取食监测系统的基础上，于20世纪80年代不断发展完善成为一种用于研究植食性刺吸式口器昆虫刺探及取食行为的技术，昆虫口针在植物不同组织内的每种行为的发生频次与起止时间均能被准确记录（Mclean & Kinsey，1964；Tjallingii，1978）；之后，学者们将透射电镜、同位素示踪等技术（Tjallingii，1978；1985）相结合建立了8种基本波形，并将之与蚜虫的刺探取食行为及口针在寄主组织内不同位置时相对应（Hardie et al.，1992；Tjallingii & Esch，1993），其中一些指标已被证明能很好地反映植物组织内如筛管元素、韧皮部凝固蛋白等理化因素对昆虫刺探和取食的影响（Tjallingii，2006）。目前国内外对蚜虫的EPG技术研究已相当成熟，并广泛应用于蚜虫对寄主植物的选择性、传毒机制及寄主的抗虫机制等行为生态学领域。姜永幸和郭予元（1996）认为棉蚜在抗性品种的取食周期E2极显著小于感性品种，取食前期波型C的周期极显著偏高；Koch et al.（2015）发现麦二叉蚜 *Schizaphis graminum*（Rondani）和甘蔗黄蚜 *Sipha flava*（Forbes）在2种柳枝稷间的E1、E2波也存在显著性差异。有研究表明，昆虫本身的发育、生理和行为状态会直接影响昆虫的取食行为（Hochuli，2001）。烟蚜 *Myzus persicae*（Sulzer）的雄蚜、无翅孤雌蚜和有翅蚜对马铃薯的选择和取食行为表现不同（Margaritopoulos et al.，2004）；马铃薯长管蚜 *Macrosiphum euphorbiae* 的有翅型和无翅型在马铃薯上的取食行为也表现出一定差异（Boquel et al.，2011）。

目前，尚无褐色橘蚜和棉蚜的有翅蚜和无翅蚜在柑橘上取食行为是否存在差异的研究报道。因此，本试验利用EPG技术记录2种蚜虫有翅型和无翅型在柑橘上的EPG波形和特征参数，并分析其取食行为差异，以期为褐色橘蚜、棉蚜对寄主的适应性、传毒机制等研究奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植株及虫源：温州蜜柑购于湖南邵阳和谐苗木专业合作社，苗木均为3年生，栽培于直径15 cm的营养钵，每钵1株，在光照周期L 16 h∶D 8 h、相对湿度（60±10）%、温度（26±2）℃的人工气候箱内培养，选取刚展开的无害虫为害的嫩叶用于试验。褐色橘蚜、棉蚜均采集于贵州大学农场柑橘园，在培养室用健康温州蜜柑饲养，培养室温度（25±5）℃、光照周期L 16 h∶D 8 h、相对湿度（60±10）%，饲养3代以上，取初羽化的无翅成蚜、有翅成蚜备用。

试剂及仪器：Giga-8型直流刺吸电位仪，直径15 μm金丝，荷兰瓦赫宁根大学昆虫实验室研制；DI-158U电信号转换器，美国DATAQ Instru-ments公司；90 cm×60 cm×120 cm法拉第金属屏蔽罩，自制，网孔60目。

1.2 方法

采用EPG技术研究蚜虫取食行为（Tjallingii，1978）。昆虫电极是一段长约2~3 cm、直径15 μm的金丝，其末端用水溶性导电银胶粘于柑橘蚜虫前胸背板上，昆虫饥饿1 h后放在刚展开的嫩叶背面，植物电极插在营养钵的土壤里。当蚜虫口针刺入温州蜜柑组织时，回路接通，电流经转换器转换为数字信号，而后通过Probe 3.5软件进行EPG波形的获取与分析。参照 Janssen et al.（1989）与 Jiang & Walker（2002）方法进行EPG波形识别，其中np波表示蚜虫未进行口针刺探；路径C波（包括A、B、C）表示口

针处于表皮与维管束之间，是胞外电势水平的表现；在此过程中有较多电势落差（potential drops，pd），反映了口针刺破细胞膜时所测膜内外两侧的电位差；E波表示蚜虫口针在韧皮部筛管刺探的过程，与其吸食营养物质有关，可分为E1波（主动分泌水溶性唾液到筛管中）和E2波（筛管中被动吸收汁液的波形）；G波是与维持蚜虫体内外水分平衡相关的波形，表示其主动在寄主木质部吸食汁液；F波是与寄主植株抗性密切相关的波形，表示蚜虫口针在细胞膜外胞间或细胞壁内的机械穿刺时受到阻碍。利用EPG-Calc 4.8软件统计EPG波形的各个参数（Giordanengo，2014），参照Margaritopoulos et al.（2004）和卢少华等（2015）的18个参数进行统计分析。在白天（25±1）℃、法拉第笼内下连续记录6 h，每头成蚜和每株植物仅用1次，每个处理有效重复20次。

1.3　数据分析

按选取的参数对褐色橘蚜有翅型、无翅型和棉蚜有翅型、无翅型所记录的波形进行种内与种间分析，试验数据采用SPSS 17.0软件进行统计分析。由于EPG的数据不符合正态分布，采用非参数检验法（Mann-Whitney U-test）对取食行为参数进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1　蚜虫刺探取食全过程的EPG波形

在6 h刺探取食中，褐色橘蚜无翅型和有翅型均记录到7种波形，分别为非刺探波np、路径波A、B和C、电位下降波pd、韧皮部取食波E1和E2；棉蚜无翅型和有翅型均记录到9种波形，除了上述7种波形外，还包括木质部主动吸食波G和口针阻碍波F。

2.2　褐色橘蚜、棉蚜EPG取食行为的种内比较

褐色橘蚜有翅型、无翅型之间仅有1个参数差异显著，即在非刺探阶段np波的持续时间，有翅型、无翅型分别为25.73 min和8.39 min（表1）。棉蚜有翅型、无翅型有4个参数差异极显著：在非韧皮部阶段，棉蚜有翅型的np波持续时间为27.34 min，显著高于无翅型的11.75 min；棉蚜有翅型口针刺探总次数、C波次数分别为19.16、20.21次，均显著高于无翅型，而刺探的总持续时间332.66 min显著低于无翅型（表1）。

蚜虫口针到达韧皮部，开始分泌唾液。棉蚜无翅型和有翅型的E1波总持续时间、E2波总持续时间无显著差异，但褐色橘蚜和棉蚜的E2波总持续时间均明显长于的G波总持续时间（表1）。

2.3　褐色橘蚜、棉蚜EPG取食行为的种间比较

在非韧皮部阶段，棉蚜有翅型和无翅型均表现出较高的C波次数、C波总持续时间、刺探次数、pd波次数、pd波总持续时间；棉蚜无翅型第1次刺探至第1次到达韧皮部的时间需要163.22 min，而褐色橘蚜无翅型只需50.27 min，二者间差异显著。在韧皮部阶段，棉蚜无翅型E2波的总持续时间和平均持续时间为177.87 min和143.04 min，有翅型分别为136.84 min和86.36 min，均显著小于褐色橘蚜有翅型和无翅型（表1）。

3 讨论

本试验基于EPG技术对褐色橘蚜、棉蚜的2种翅型蚜虫的取食行为进行了研究，结果显示，褐色橘蚜有翅型、无翅型均产生了7种取食波形，且波形形状基本相同，与鲁卓越等（2014）研究褐色橘蚜无翅型在5种柑橘上取食行为的结论一致；棉蚜有翅型和无翅型均产生了9种取食波形，与姜永幸和郭予元（1996）对棉蚜在不同棉花品种上的取食波形基本一致。表明蚜虫的取食波形具有稳定性和多样性。此外，据报道金丝的束缚作用影响昆虫的正常行为（Tjallingii，1986），本研究中褐色橘蚜有翅型与无翅型仅np波持续时间差异显著，且有翅型大于无翅型，其原因是否与金丝束缚有关尚待进一步研究。

棉蚜有翅型蚜np波总持续时间显著高于无翅型，表明其在温州蜜柑表皮上需消耗更多时间。非韧皮部刺探阶段，蚜虫口针刺入叶片或叶脉的表皮，穿过细胞间隙后才能到达韧皮部（Gabrys et al.，1997），而在其口针到达韧皮部之前需多次或更长时间的多方向刺探才能找到合适的吸食位点（Lei et al.，1997；2001），刺探的次数多、时间长，说明难以寻找到适宜的吸食位点，取食效率较低。本研究中棉蚜有翅型的总刺探次数以及刺探总时间显著高于无翅型，说明温州蜜柑表面的物理结构或化学成分对蚜虫取食行为有重要影响，同时也说明棉蚜有翅型较无翅型取食效率低，与Boquel et al.（2011）对烟蚜有翅型、无翅型在马铃薯上取食的结论一致；Powell & Hardie（2001）研究发现蚕豆蚜*Aphis fabae*有翅型在越冬寄主上比在夏寄主上的取食活动更活跃，说明蚜虫对寄主的取食活动可能与寄主专化性和不同的选择标准等因素有关（Margaritopoulos et al.，2004）。在韧皮部取食参数中，取食时间能直接反映刺吸式口器昆虫寄主的适应性，本试验发现，褐色橘蚜E2波的持续时间与平均持续时间显著高于棉蚜，说明褐色橘蚜对柑橘的适应性更强，这与何应琴等

(2015)发现褐色橘蚜E2波的总持续时间显著长于其它2种蚜虫的结果一致。

表1 褐色橘蚜和棉蚜无翅型、有翅型在柑橘上的取食行为参数

Table 1 Feeding behavior parameters of apterous and alate *Toxoptera citricida* and *Aphis gossypii* adults on citrus

EPG参数 EPG parameter	褐色橘蚜 *T. citricida*		棉蚜 *A. gossypii*		种内比较 Intra-specific comparison		种间比较 Inter-specific comparison	
	无翅 Apterous	有翅 Alate	无翅 Apterous	有翅 Alate	*P1*	*P2*	*P3*	*P4*
np波总持续时间 Total time of np (min)	8.39±2.16	25.73±6.28	11.75±4.63	27.34±6.59	0.04*	0.00**	0.63	0.63
C波次数 No. of C	4.05±0.76	6.55±1.22	9.69±1.96	20.21±2.71	0.18	0.00**	0.00**	0.00**
C波总持续时间 Total duration of C (min)	51.42±8.18	75.84±11.29	157.93±25.94	184.84±20.53	0.20	0.43	0.00**	0.00**
刺探次数 No. of probes	4.00±0.80	6.65±1.19	9.38±2.07	19.16±2.77	0.12	0.00**	0.00**	0.00**
第1次刺探时间 Time to the first probe	0.61±0.23	1.45±0.76	0.19±0.07	0.89±0.38	0.13	0.75	0.71	0.43
刺探总持续时间 (min) Total duration of probing	348.61±3.53	343.24±9.28	362.94±19.40	332.66±6.59	0.24	0.01**	0.95	0.35
pd波次数 No. of pd	61.65±8.75	91.40±12.95	164.56±26.73	213.05±22.81	0.16	0.09	0.00**	0.00**
第1次pd波时间 Time to first pd	2.14±0.45	2.19±1.12	2.30±0.60	2.27±0.54	0.08	0.82	0.85	0.25
pd波总持续时间 Total duration of pd (min)	4.36±0.61	6.24±0.90	11.34±1.85	12.48±1.34	0.26	0.39	0.00**	0.00**
E1波次数 No. of E1	1.40±0.22	1.20±0.16	1.69±0.62	1.89±0.44	0.38	0.48	0.41	0.39
E1波总持续时间 Total duration of E1 (min)	2.14±0.90	1.05±0.14	5.64±4.34	2.70±1.20	0.85	0.97	0.90	0.89
E1波平均持续时间 Mean duration of E1 (min)	1.03±0.18	0.93±0.13	1.18±0.42	0.76±0.21	0.87	0.40	0.57	0.06
E2波次数 No. of E2	1.20±0.12	1.15±0.11	1.50±0.59	1.74±0.38	0.66	0.35	0.48	0.38
E2波总持续时间 Total duration of E2 (min)	295.06±9.99	257.30±15.31	177.87±29.43	136.84±25.21	0.17	0.26	0.00**	0.00**
E2波平均持续时间 Mean duration of E2 (min)	274.75±18.19	247.43±19.18	143.04±29.34	86.36±21.49	0.43	0.15	0.00**	0.00**
第1次刺探至首次到达韧皮部时间 Time from first probe to first E (min)	50.27±9.06	84.63±13.45	163.22±30.78	170.03±30.60	0.11	0.97	0.00**	0.08
G波总持续时间 Duration of G	0.00±0.00	0.00±0.00	2.99±2.99	4.70±2.92	0.00	0.40	0.07	0.07
F波总持续时间 Duration of F	0.00±0.00	0.00±0.00	0.06±0.06	3.58±2.16	0.00	0.34	0.26	0.24

表中数据为平均数±标准误。*和**表示经非参数检验法检验分别在$P<0.05$和$P<0.01$水平差异显著。*P1*、*P2*、*P3*、*P4*分别表示褐色橘蚜无翅型与有翅型、棉蚜无翅型与有翅型、褐色橘蚜无翅型与棉蚜无翅型以及褐色橘蚜有翅型与棉蚜有翅型之间比较的U检验概率值。Data are mean±SE. * or ** indicates significant difference at $P<0.05$ or $P<0.01$ level by Mann-Whitney U-test. *P1*, *P2*, *P3*, *P4* indicate U probabilities of the comparison between apterous and alate *Toxoptera citricida*, between apterous and alate *Aphis gossypii*, between apterous *T. citricida* and *A. gossypii* and between alate *T. citricida* and *A. gossypii*, respectively.

蚜虫口针一般通过短暂的刺吸表皮细胞来获取病毒，最初的刺吸可获取半持久性病毒(Palacios et al.，2002)，当蚜虫穿刺到维管束吸食时，获毒率明显增加。柑橘衰退病以半持久性方式进行传播(Biswas et al.，2012)，褐色橘蚜和棉蚜是柑橘衰退病的有效传播媒介(Moreno et al.，2008)。本试验发现，褐色橘蚜和棉蚜均具有穿刺柑橘叶片表皮、叶肉细胞和维管束的能力，且褐色橘蚜无翅型和有翅型E2波的总持续时间显著长于棉蚜，而柑橘衰退病毒(*Citrus trtisteza virus*，CTV)存在于柑橘韧皮部，推断褐色橘蚜的获毒率可能比棉蚜高。

本研究采用EPG技术探明了褐色橘蚜和棉蚜不同翅型蚜虫之间存在的取食行为差异，并对差异进行了种内与种间的比较分析，获得了较为全面的生态适应性信息，为二者生态适应性的深入剖析、生态防治及传毒机制研究提供理论依据。今后应对二者

取食时所引起的自身及寄主的生理生化变化进行深入研究，进一步明确二者与寄主间的相互作用。

参 考 文 献（References）

Biswas KK, Tarafdar A, Sharma SK. 2012. Complete genome sequence of mandarin decline *Citrus tristeza virus* of the northeastern Himalayan hill region of India: comparative analyses determine recombinant. Archives of Virology, 157(3): 579−583

Boquel S, Giordanengo P, Ameline A. 2011. Probing behavior of apterous and alate morphs of two potato-colonizing aphids. Journal of Insect Science, 11: 164

Gabrys B, Tjallingii WF, Beek TAV. 1997. Analysis of EPG recorded probing by cabbage aphid on host plant parts with different glucosinolate contents. Journal of Chemical Ecology, 23(7): 1661−1673

Giordanengo P. 2014. EPG-Calc: a PHP-based script to calculate electrical penetration graph (EPG) parameters. Arthropod-Plant Interactions, 8(2): 163−169

Hardie J, Holyoak M, Taylor NJ, Griffiths DC. 1992. The combination of electronic monitoring and video-assisted observations of plant penetration by aphids and behavioural effects of polygoidal. Entomologia Experimentalis et Applicata, 62(3): 233−239

Harrington R, Taylor LR. 1990. Migration for survival: fine-scale population redistribution in an aphid, *Myzus persicae*. Journal of Animal Ecology, 59(3): 1177−1193

He YQ, Chen WL, Lu ZY, Zhou CY, Li ZA, Li TS. 2015. EPG analysis of feeding behavior of three aphids on *Citrus reticulate*. Journal of Plant Protection, 42(2): 217−222 (in Chinese) [何应琴, 陈文龙, 鲁卓越, 周常勇, 李中安, 李太盛. 2015. 柑橘三种蚜虫取食行为的EPG分析. 植物保护学报, 42(2): 217−222]

Hochuli DF. 2001. Insect herbivory and ontogeny: How do growth and development influence feeding behaviour, morphology and host use? Austral Ecology, 26(5): 563−570

Janssen JAM, Tjallingii WF, van Lenteren JC. 1989. Electrical recording and ultrastructure of stylet penetration by the greenhouse whitefly. Entomologia Experimentalis et Applicata, 52(1): 69−81

Jiang YX, Guo YY. 1996. The study of the feeding behaviour of cotton aphid and relative feeding amount on different cotton varieties. Journal of Plant Protection, 23(1): 1−7 (in Chinese) [姜永幸, 郭予元. 1996. 棉蚜在不同棉花品种上的取食行为及相对取食量的研究. 植物保护学报, 23(1): 1−7]

Jiang YX, Walker GP. 2002. Pathway phase waveform characteristics correlated with length and rate of stylet advancement and partial stylet withdrawal in AC electrical penetration graphs of adult whiteflies. Entomologia Experimentalis et Applicata, 101(3): 233−246

Koch KG, Palmer N, Stamm M, Bradshaw JD, Blankenship E, Baird LM, Sarath G, Heng-Moss TM. 2015. Characterization of greenbug feeding behavior and aphid (Hemiptera: Aphididae) host preference in relation to resistant and susceptible tetraploid switchgrass populations. BioEnergy Research, 8(1): 165−174

Lei H, Lenteren JC, Xu RM. 2001. Effects of plant tissue on the acceptance of four greenhouse vegetable host by the greenhouse whitefly: an electrical penetration graph (EPG) study. European Journal of Entomology, 98(1): 31−36

Lei H, Tjallingii WF, Lenteren JCV. 1997. Effect of tethering during EPG recorded probing by adults of the greenhouse whitefly. Journal of Applied Entomology, 121(1/5): 211−217

Lu SH, Li JJ, Liu MY, Bai RE, Tang QB, Yan FM. 2015. Comparative analysis of the competitiveness between B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* under laboratory conditions. Scientia Agricultura Sinica, 48(7): 1339−1347 (in Chinese) [卢少华, 李静静, 刘明杨, 白润娥, 汤清波, 闫凤鸣. 2015. 烟粉虱B型和Q型竞争能力的室内比较分析. 中国农业科学, 48(7): 1339−1347]

Lu ZY, Chen WL, He YQ, Zhou CY, Wang XF, Li TS. 2014. Difference in feeding behavior of brown citrus aphid *Toxoptera citricida* on five species of orange seedlings. Journal of Plant Protection, 41(5): 637−638 (in Chinese) [鲁卓越, 陈文龙, 何应琴, 周常勇, 王雪峰, 李太盛. 2014. 褐色橘蚜在五种柑橘上的取食行为差异. 植物保护学报, 41(5): 637−638]

Margaritopoulos JT, Souri A, Tsitsipis JA. 2004. Feeding studies on gynoparae, males and apterous virginoparae of *Myzus persicae*, on potato by electrical penetration graph. Journal of Applied Entomology, 128(8): 522−527

Mclean DL, Kinsey MG. 1964. A technique for electronically recording aphid feeding and salivation. Nature, 202(4939): 1358−1359

Moreno P, Ambrós S, Albiach-Martí MR, Guerri J, Peňa L. 2008. *Citrus tristeza virus*: a pathogen that changed the course of the citrus industry. Molecular Plant Pathology, 9(2): 251−268

Palacios I, Drucker M, Blanc S, Leite S, Moreno A, Fereres A. 2002. Cauliflower mosaic virus is preferentially acquired from the phloem by its aphid vectors. Journal of General Virology, 83(12): 3163−3171

Powell G, Hardie J. 2001. A potent, morph-specific parturition stimulant in the overwintering host plant of the black bean aphid, *Aphis fabae*. Physiological Entomology, 26(3): 194−201

Powell G, Tosh CR, Hardie J. 2006. Host plant selection by aphids: behavioral, evolutionary, and applied perspectives. Entomology, 51: 309−330

Su JY, Xia JK. 1987. Host selection and feeding behavior of aphids. Journal of Nanjing Agricultural University, 10(2): 42−47 (in Chinese) [苏建亚, 夏基康. 1987. 蚜虫的寄主选择与取食行为. 南京农业大学学报, 10(2): 42−47]

Tjallingii WF. 1978. Electronic recording of penetration behaviour by aphids. Entomologia Experimentalis et Applicata, 24(3): 721−730

Tjallingii WF. 1985. Membrane potentials as an indication for plant cell penetration by aphid stylets. Entomologia Experimentalis et Applicata, 38(2): 187−193

Tjallingii WF. 1986. Wire effects on aphids during electrical recording of stylet penetration. Entomologia Experimentalis et Applicata, 40(1): 89−98

Tjallingii WF. 2006. Salivary secretions by aphids interacting with proteins of phloem wound responses. Journal of Experimental Botany, 57(4): 739−745

Tjallingii WF, Esch TH. 1993. Fine structure of aphid stylet routes in plant tissues in correlation with EPG signals. Physiological Entomology, 18(3): 317−328

（责任编辑：王 璇）